

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
4. Februar 2016 (04.02.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/016216 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F25B 9/14 (2006.01) G01R 33/38 (2006.01)
G01R 33/3815 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/067219

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juli 2015 (28.07.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 214 819.7 29. Juli 2014 (29.07.2014) DE

(71) Anmelder: **BRUKER BIOSPIN GMBH** [DE/DE];
Silberstreifen, 76287 Rheinstetten (DE).

(72) Erfinder: **WIKUS, Patrick**; Eggensteiner Weg 11A,
76351 Linkenheim (DE). **BONN, Steffen**; Moldastr. 1E,
76149 Karlsruhe (DE). **ROTH, Gerhard**; Am Rain 2c,
76287 Rheinstetten (DE).

(74) Anwälte: **KOHLER SCHMID MÖBUS**
PATENTANWÄLTE, PartG mbB et al.; Ruppmannstr.
27, 70565 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PULSE TUBE COOLER SYSTEM WITH FORCE-COMPENSATED ROTARY VALVE LINE

(54) Bezeichnung : PULSROHRKÜHLER-SYSTEM MIT KRAFTKOMPENSIERTER DREHVENTILLEITUNG

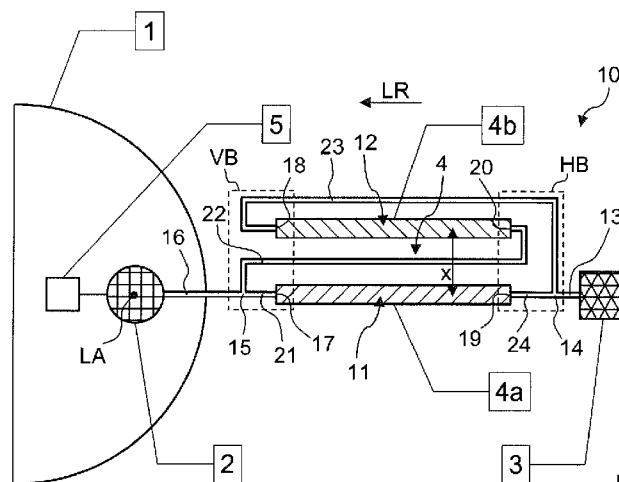


Fig. 2

(57) Abstract: A pulse tube cooler system (10), comprising a cold head (2), a control valve (3) and a connection device (4), wherein, using the control valve (3), it is possible to switch in alternation between a high-pressure reservoir (81) and a low-pressure reservoir (82) of a working gas via the connection device (4) to the cold head (2), and wherein the connection device (4) is split into a first line branch (11) and a second line branch (12), is characterized in that the first line branch (11) has a first flexible line section (4a) and the second line branch (12) has a second flexible line section (4b), in that the flexible line sections (4a, 4b) are arranged parallel to one another and are offset with respect to one another perpendicular to a longitudinal direction (LR) of the flexible line sections (4a, 4b), in that the connection device (4) has, with respect to the longitudinal direction (LR), a forward region (VB) and a rear region (HB), wherein the flexible line sections (4a, 4b) each have a forward section end (17, 18) in the forward region (VB) and a rear section end (19, 20) in the rear region (HB), in that the forward section end (17) of the first flexible line section (4a) and the rear section end (20) of the second flexible line section (4b) are rigidly connected to one another, in that the rear section end (19) of the first flexible line section (4a) and the forward section end (18) of the second flexible line section (4b) are rigidly connected to one another.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/016216 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(18) of the second flexible line section (4b) are rigidly connected to one another, and in that there is no continuous rigid connection between the control valve (3) and the cold head (2). The pulse tube cooler system suppresses both high-frequency vibrations of the control valve and low-frequency vibrations caused by pressure fluctuations in the connection device between the control valve and the cold head in a compact construction.

(57) Zusammenfassung: Ein Pulsrohrkühler-System (10), umfassend einen Kaltkopf (2), ein Steuerventil (3) und eine Verbindungseinrichtung (4), wobei mit dem Steuerventil (3) abwechselnd ein Hochdruckreservoir (81) und ein Niederdruckreservoir (82) eines Arbeitsgases über die Verbindungseinrichtung (4) auf den Kaltkopf (2) schaltbar ist, und wobei die Verbindungseinrichtung (4) in einen ersten Leitungszweig (11) und einen zweiten Leitungszweig (12) verzweigt, ist dadurch gekennzeichnet, dass der erste Leitungszweig (11) einen ersten flexiblen Leitungsabschnitt (4a) und der zweite Leitungszweig (12) einen zweiten flexiblen Leitungsabschnitt (4b) aufweist, dass die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) parallel zueinander angeordnet und quer zu einer Längsrichtung (LR) der flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) gegeneinander versetzt sind, dass die Verbindungseinrichtung (4) bezüglich der Längsrichtung (LR) einen vorderen Bereich (VB) und einen hinteren Bereich (HB) aufweist, wobei die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) jeweils ein vorderes Abschnittsende (17, 18) im vorderen Bereich (VB) und ein hinteres Abschnittsende (19, 20) im hinteren Bereich (HB) aufweisen, dass das vordere Abschnittsende (17) des ersten flexiblen Leitungsabschnitts (4a) und das hintere Abschnittsende (20) des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr miteinander verbunden sind, dass das hintere Abschnittsende (19) des ersten flexiblen Leitungsabschnitts (4a) und das vordere Abschnittsende (18) des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr miteinander verbunden sind, und dass es keine durchgehende starre Verbindung zwischen dem Steuerventil (3) und dem Kaltkopf (2) gibt. Mit dem Pulsrohrkühler-System werden sowohl hochfrequente Vibrationen des Steuerventils als auch niederfrequente Vibrationen durch Druckschwankungen in der Verbindungseinrichtung zwischen Steuerventil und Kaltkopf in einer kompakten Bauform unterdrückt.

5

10

15

Pulsrohrkühler-System mit kraftkompensierter Drehventilleitung

20

Die Erfindung betrifft ein Pulsrohrkühler-System, umfassend einen Kaltkopf, ein Steuerventil und eine Verbindungseinrichtung,

wobei mit dem Steuerventil abwechselnd ein Hochdruckreservoir und ein Niederdruckreservoir eines Arbeitsgases über die Verbindungseinrichtung auf

25 den Kaltkopf schaltbar ist,

und wobei die Verbindungseinrichtung in einen ersten Leitungszweig und einen zweiten Leitungszweig verzweigt.

Ein solches Pulsrohr-Kühlersystem ist aus der DE 10 2005 004 269 A1 bekannt geworden.

5 Kernspinresonanz(=NMR)-Apparaturen, insbesondere NMR-Spektrometer und NMR-Tomographen, benötigen starke Magnetfelder, die oftmals mittels supraleitender Magnetspulen erzeugt werden. Die supraleitenden Magnetspulen müssen auf einer kryogenen Temperatur betrieben werden. Um die Betriebstemperatur langfristig aufrecht zu erhalten, werden häufig so genannte Pulsrohrkühler eingesetzt.

10

Der Pulsrohrkühler basiert auf einer periodische Druckschwankung in einem so genannten Kaltkopf. Ein Steuerventil schaltet dafür abwechselnd ein Hochdruckreservoir und ein Niederdruckreservoir eines Arbeitsgases auf den Kaltkopf; typischerweise liegt die Umschaltfrequenz des Steuerventils bei ca. 1-
15 2 Hz. Das Hochdruck- und Niederdruckreservoir werden über einen Kompressor für das Arbeitsgas beschickt. Der Kaltkopf ragt in den Kryostaten der NMR-Apparatur und ist am Kryostaten befestigt.

Die NMR-Messungen können durch mechanische Vibrationen der NMR-
20 Apparatur, die insbesondere über den Kaltkopf eingebracht werden, gestört werden.

Aus der DE 10 2005 035 892 B4 ist es bekannt geworden, in der Hochdruckleitung, die den Kompressor mit einem Hochdruckreservoir
25 verbindet, sowie in der Niederdruckleitung, die den Kompressor mit einem Niederdruckreservoir verbindet, jeweils einen flexiblen Leitungsabschnitt vorzusehen. Die Druckreservoirs, das Steuerventil, der Kaltkopf und der Kryostat bilden zusammen ein schwingungsisoliertes System. Das Steuerventil ist mechanisch starr mit dem Kryostaten verbunden. Bei dieser Bauform wird
30 sowohl die Übertragung von Vibrationen des Kompressors auf den Kaltkopf als auch die Störung durch die Druckpulse minimiert. Störungen, die im

Steuerventil, in der Verbindungsleitung zwischen Steuerventil und Kaltkopf oder im Kaltkopf selbst entstehen, werden bei dieser Bauform nicht vom Kryostaten isoliert.

- 5 Niederfrequente Vibrationen können auch von den Druckschwankungen des Arbeitsgases mit der Frequenz von etwa 1-2 Hz in einer Verbindungsleitung zwischen dem umschaltbaren Steuerventil und dem Kaltkopf verursacht werden.
- 10 Aus der DE 10 2005 004 269 A1 ist ein Pulsrohrkühler-System bekannt, wobei das Steuerventil nicht starr an den Kaltkopf und den Kryostaten gekoppelt ist. Eine Verbindungsleitung zwischen Steuerventil und Kaltkopf verzweigt auf zwei Leitungsabschnitte, die so zusammengeführt sind, dass sich Druckimpulse vektoriell kompensieren. Die Leitungsabschnitte führen an gegenüberliegenden
- 15 Seiten in den Kaltkopf hinein, wobei die vorderen Teile der beiden Leitungsabschnitte auf einer Linie liegen.

- Vom Steuerventil eines Pulsrohrkühlers gehen aufgrund der Umschaltmechanik (zum Beispiel einer Drehmechanik mit Elektromotor) hochfrequente
- 20 mechanische Vibrationen (typischerweise mit einigen hundert Hz oder mehr) aus. Um diese nicht auf den Kaltkopf zu übertragen, kann die Verbindungsleitung zwischen Steuerventil und Kaltkopf flexibel ausgestaltet werden; in der Regel ist dafür eine Länge von ca. 50 cm oder mehr nötig.
- 25 Wenn die zum Kaltkopf führende Verbindungsleitung verzweigt würde, und die am Kaltkopf angeschlossenen Leitungsabschnitte flexibel ausgebildet und gegenüberliegend auf einer Linie angeordnet würden, könnten zwar mechanische Vibrationen am Kaltkopf gut vermieden werden, jedoch wäre die Baugröße der verzweigten Verbindungsleitung (Verbindungseinrichtung) sehr
- 30 ausladend und für viele Anwendungen nicht mehr kompakt genug.

Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Pulsrohrkühler-System vorzustellen, bei dem sowohl hochfrequente Vibrationen des Steuerventils als
5 auch niederfrequente Vibrationen durch Druckschwankungen in einer Verbindungseinrichtung zwischen Steuerventil und Kaltkopf in einer kompakten Bauform unterdrückt werden können.

Kurze Beschreibung der Erfindung

10

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Pulsrohrkühler-System der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist,
dass der erste Leitungszweig einen ersten flexiblen Leitungsabschnitt und der zweite Leitungszweig einen zweiten flexiblen Leitungsabschnitt aufweist,
15 dass die flexiblen Leitungsabschnitte parallel zueinander angeordnet und quer zu einer Längsrichtung der flexiblen Leitungsabschnitte gegeneinander versetzt sind,
dass die Verbindungseinrichtung bezüglich der Längsrichtung einen vorderen Bereich und einen hinteren Bereich aufweist, wobei die flexiblen
20 Leitungsabschnitte jeweils ein vorderes Abschnittsende im vorderen Bereich und ein hinteres Abschnittsende im hinteren Bereich aufweisen,
dass das vordere Abschnittsende des ersten flexiblen Leitungsabschnitts und das hintere Abschnittsende des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts starr miteinander verbunden sind,
25 dass das hintere Abschnittsende des ersten flexiblen Leitungsabschnitts und das vordere Abschnittsende des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts starr miteinander verbunden sind,
und dass es keine durchgehende starre Verbindung zwischen dem Steuerventil und dem Kaltkopf gibt.

30

Bei der erfindungsgemäßen Bauform des Pulsrohr-Kühlersystems wird das Steuerventil über eine besondere Verbindungseinrichtung mit dem Kaltkopf verbunden, mit der sowohl hochfrequente Vibrationen des Steuerventils isoliert werden können als auch niederfrequente Vibrationen aufgrund der
5 Druckschwankungen in der Verbindungseinrichtung auf geringem Raum kompensiert werden können.

Um hochfrequente Vibrationen vom Steuerventil nicht auf den Kaltkopf zu übertragen, wird auf eine durchgehende, starre Verbindung zwischen
10 Steuerventil und Kaltkopf verzichtet. Die Verbindung zwischen Steuerventil und Kaltkopf erfolgt lediglich unter Beteiligung eines der flexiblen Leitungsabschnitte oder auch beider flexibler Leitungsabschnitte, wodurch die hochfrequenten Vibrationen des Steuerventils isoliert werden. In der Regel genügt eine Länge von 50 cm oder mehr eines flexiblen Leitungsabschnitts für eine ausreichende
15 Isolation der hochfrequenten Vibrationen. Bevorzugt sind die flexiblen Leitungsabschnitte so ausgebildet (insbesondere hinsichtlich Leitungsmaterial und Länge), dass die hochfrequenten Vibrationen des Steuerventils (beispielsweise mit 500 Hz und mehr) um wenigstens einen Faktor 100 abgeschwächt werden.

20 Zum anderen werden die zwei flexiblen Leitungsabschnitte dazu eingesetzt, als Reaktion auf die Druckschwankungen des Arbeitsgases in der Verbindungseinrichtung im Wesentlichen gegenläufige mechanische Kräfte zu erzeugen. Die flexiblen Leitungsabschnitte sind infolge der Verzweigung der
25 Verbindungseinrichtung so angeschlossen, dass sie beide denselben Druckschwankungen (wie vom Steuerventil geschaltet) des Arbeitsgases unterliegen, und sie entsprechend gleichzeitig (synchron) gemäß dem momentanen Druck des Arbeitsgases entgegengesetzte longitudinale Kontraktions- und/oder Expansionskräfte hervorrufen. Wenigstens einer der
30 flexiblen Leitungsabschnitte muss vom Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet sein.

Die beiden flexiblen Leitungsabschnitte sind parallel zueinander und quer zur Längsrichtung der flexiblen Leitungsabschnitte gegeneinander versetzt („nebeneinander“) angeordnet, typischerweise ohne oder nur mit geringem
5 Versatz in Längsrichtung (z.B. mit einem Versatz von maximal der Hälfte der Länge eines flexiblen Leitungsabschnitts). Dadurch, dass die flexiblen Leitungsabschnitte nicht auf einer Linie liegen, kann der Platzbedarf deutlich verringert werden. Man beachte, dass die beiden flexiblen Leitungsabschnitte im Allgemeinen gerade verlaufen. Im Rahmen der Erfindung werden die
10 beiden Leitungszweige (mit ihren teilweise starren Leitungsabschnitten und den beiden flexiblen Leitungsabschnitten) und gegebenenfalls mechanische Gestänge sozusagen „zusammengefaltet“, typischerweise wobei einige starre Leitungsabschnitte und/oder Gestänge parallel zu und seitlich neben den flexiblen Leitungsabschnitten verlaufen.

15

Um die gegenläufigen mechanischen Kräfte bei den Druckschwankungen zu erhalten, sind die vorderen und hinteren Abschnittsenden der beiden flexiblen Leitungsabschnitte „über Kreuz“ miteinander starr mechanisch verbunden; hierfür können starre Leitungsabschnitte (die Arbeitsgas führen) oder auch
20 starre Gestänge (die kein Arbeitsgas führen) eingesetzt werden.

Eine Längenexpansion des ersten flexiblen Leitungsabschnitts in Längsrichtung wäre über die starren mechanischen Verbindungen der Abschnittsenden mit einer Längenkompression des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts verbunden.
25 In analoger Weise wäre eine Längenexpansion des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts über die starren mechanischen Verbindungen der Abschnittsenden mit einer Längenkompression des ersten flexiblen Leitungsabschnitts verbunden. Wenn nun beide flexible Leitungsabschnitte beispielsweise versuchen, aufgrund einer gleichzeitigen Druckerhöhung des
30 Arbeitsgases zu expandieren, so blockieren sie sich dabei gegenseitig. Entsprechend blockieren sich die beiden flexiblen Leitungsabschnitte auch

gegenseitig, wenn sie sich aufgrund einer gleichzeitigen Druckabsenkung des Arbeitsgases beide versuchen zusammenzuziehen. Dadurch ist eine effektive, passive Kompensation der niederfrequenten Vibrationen aufgrund von synchronen Druckschwankungen des Arbeitsgases in beiden Zweigen der
5 Verbindungseinrichtung eingerichtet.

Die Synchronität der Druckverläufe in beiden Zweigen der Verbindungseinrichtung wird dadurch gewährleistet, dass die Frequenz der zu kompensierenden Druckpulse klein ist gegen das Verhältnis aus Länge der
10 durchströmten Leitungsabschnitte zur Schallgeschwindigkeit im Arbeitsgas.

Die durch die beiden flexiblen Leitungsabschnitte bewirkten Kräfte können leicht betragsmäßig gleich eingerichtet werden, so dass es keine Nettokraft auf den Kaltkopf (bzw. das gesamte gekühlte Magnetsystem einer
15 Magnetresonanzapparatur) gibt, insbesondere durch Verwendung baugleicher flexibler Leitungsabschnitte. Allerdings verbleibt aufgrund des Querversatzes der flexiblen Leitungsabschnitte stets ein gewisses Drehmoment auf den Kaltkopf. Um dieses möglichst gering zu halten, werden die flexiblen Leitungsabschnitte bevorzugt möglichst eng benachbart nebeneinander
20 angeordnet.

Bevorzugte Varianten der Erfindung

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen
25 Pulsrohrkühler-Systems ist vorgesehen, dass das vordere Abschnittsende des ersten flexiblen Leitungsabschnitts und das hintere Abschnittsende des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts starr mit dem Kaltkopf verbunden sind, und/oder dass das hintere Abschnittsende des ersten flexiblen Leitungsabschnitts und das vordere Abschnittsende des zweiten flexiblen
30 Leitungsabschnitts starr mit dem Steuerventil verbunden sind. Die in dieser Ausführungsform vorgesehenen starren mechanischen Verbindungen der

Abschnittsenden mit dem Steuerventil und dem Kaltkopf sind aufgrund der im Wesentlichen expansions- und kontraktionsfreien Ausgestaltung der Verbindungseinrichtung bezüglich der niederfrequenten Vibrationen unkritisch. Die besagten starren Verbindungen können insbesondere über starre
5 Leitungsabschnitte („Rohrstücke“) eingerichtet werden, durch die das Arbeitsgas geleitet werden kann.

Ebenfalls bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der das Steuerventil als ein Drehventil ausgebildet ist. Mit einem Drehventil ist die periodische Umschaltung
10 zwischen Hochdruckreservoir und Niederdruckreservoir besonders einfach. Die von einem typischen motorischen Antrieb eines Drehventils erzeugten hochfrequenten Schwingungen können über einen flexiblen Leitungsabschnitt, etwa aus metallischem Wellschlauch, gut isoliert werden.

15 Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der die starren Verbindungen der Abschnittsenden teilweise oder vollständig durch starre Leitungsabschnitte eingerichtet sind, durch die das Arbeitsgas strömen kann. Dadurch haben die starren Verbindungen zwischen den Abschnittsenden eine Doppelfunktion zur Vibrationskompensation und für den Transport des
20 Arbeitsgases. Zusätzliche Gestänge sind nicht erforderlich.

Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems sieht vor, dass beide Leitungszweige von Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet sind. In dieser Ausführungsform nehmen beide Leitungszweige am Gasfluss
25 zwischen Steuerventil und Kaltkopf teil, wodurch der Strömungswiderstand für das Arbeitsgas gering gehalten wird.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung dieser Ausführungsform sind die beiden Leitungszweige so ausgebildet, dass sie den gleichen Strömungswiderstand für
30 das Arbeitsgas aufweisen. Dies kann insbesondere durch einen symmetrischen Aufbau der Zweige eingerichtet werden. Bei dieser Bauform ist die

Kompensationswirkung besonders hoch. Alternativ kann auch ein ungleicher Strömungswiderstand der beiden Leitungszweige eingerichtet sein, was oft baulich einfacher einzurichten ist.

- 5 Bei einer alternativen Ausführungsform ist nur einer der beiden Leitungszweige von Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet. Dadurch werden Totvolumina (die den Wirkungsgrad des Pulsrohrkühler-Systems verschlechtern können) reduziert. Auch ermöglicht dies in vielen Fällen bauliche Vereinfachungen; insbesondere sind weniger starre Leitungsabschnitte (Rohrstücke) nötig. Man beachte, dass jedoch auch in dieser Ausführungsform beide Leitungszweige
10 bzw. beide flexiblen Leitungsabschnitte für das Arbeitsgas des Hochdruckreservoirs und des Niederdruckreservoirs (entsprechend dem Schaltzustand des Steuerventils) zugänglich sind.

- 15 Bevorzugt ist eine Weiterbildung dieser Ausführungsform, bei der einer der Leitungszweige an einem der Abschnittsenden von dessen flexiblem Leitungsabschnitt blockiert ist. Dies ist baulich sehr einfach zu realisieren.

- Vorteilhaft ist auch eine Ausführungsform, bei der die flexiblen
20 Leitungsabschnitte als metallische Welschläuche ausgebildet sind. Diese haben sich für die Isolation von hochfrequenten Vibrationen in der Praxis bewährt, insbesondere bezüglich langer Haltbarkeit, und sind kostengünstig kommerziell erhältlich.

- 25 Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sind die flexiblen Leitungsabschnitte baugleich ausgebildet. Die flexiblen Leitungsabschnitte der beiden Leitungszweige sind insbesondere gleich lang, mit gleichem Durchmesser und gleichem Material ausgebildet. Dadurch können die in beiden Leitungsabschnitten durch Druckschwankungen erzeugten Kräfte auf einfache
30 Weise betragsmäßig näherungsweise gleich eingerichtet werden.

Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform, bei der die Verbindungseinrichtung so angeordnet ist, dass die Längsrichtung der flexiblen Leitungsabschnitte horizontal verläuft. Bei dieser Bauform (und bei der üblichen vertikalen Anordnung des Kaltkopfs im Kryostaten) ist das durch die

5 Verbindungseinrichtung in den Kaltkopf eingebrachte Rest-Drehmoment günstig orientierbar, so dass es versucht, den Kaltkopf um seine vertikale Achse zu drehen; hierfür werden die flexiblen Leitungsabschnitte in einer Ebene horizontal nebeneinander angeordnet. Ein solches Drehmoment zieht den Kaltkopf nicht gegen eine Wand im Kryostaten; ein „Scheppern“ wird

10 vermieden.

Bei einer alternativen, vorteilhaften Ausführungsform ist die Verbindungseinrichtung so angeordnet, dass die Längsrichtung der flexiblen Leitungsabschnitte vertikal verläuft. Dies kann besonders platzsparend

15 eingerichtet werden.

Ebenfalls bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der am Kaltkopf ein Gegengewicht angeordnet ist, mit dem ein durch das Gewicht der Verbindungseinrichtung bewirktes Drehmoment auf den Kaltkopf kompensiert

20 ist. Dadurch kann der Kaltkopf besonders einfach in seiner Sollorientierung an bzw. in einem Kryostaten gehalten werden.

Bauform mit geschachtelten Leitungszweigen

25 Die obige Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch ein Pulsrohrkühler-System der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der erste Leitungszweig einen flexiblen Leitungsabschnitt und der zweite Leitungszweig einen flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt aufweist, wobei der flexible Leitungsabschnitt entlang einer Längsrichtung verläuft und

30 koaxial im flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt angeordnet ist, dass die Verbindungseinrichtung bezüglich der Längsrichtung einen vorderen

Bereich und einen hinteren Bereich aufweist, wobei der flexible Leitungsabschnitt und der flexible, rohrförmige Wandabschnitt jeweils ein vorderes Abschnittsende im vorderen Bereich und ein hinteres Abschnittsende im hinteren Bereich aufweisen,

5 dass das vordere Abschnittsende des flexiblen Leitungsabschnitts und das hintere Abschnittsende des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts starr miteinander verbunden sind,

dass das hintere Abschnittsende des flexiblen Leitungsabschnitts und das vordere Abschnittsende des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts starr

10 miteinander verbunden sind,

und dass es keine durchgehende starre Verbindung zwischen dem Steuerventil und dem Kaltkopf gibt. Bei dieser Bauform blockieren der flexible Leitungsabschnitt einerseits und der flexible, rohrförmige Abschnitt andererseits sich gegenseitig bezüglich einer Längenexpansion oder

15 Längenkompression aufgrund der synchronen, niederfrequenten Druckschwankungen in beiden Leitungszweigen. Dieses Blockieren wird durch die starren Verbindungen der vorderen und hinteren Abschnittsenden „über Kreuz“ erreicht, in gleicher Weise wie in der zuerst vorgestellten Bauform mit zwei flexiblen Leitungsabschnitten. Die starren Verbindungen werden

20 typischerweise durch einen inneren und einen äußeren, starren Rohrabschnitt eingerichtet; diese Rohrabschnitte begrenzen bevorzugt auch den zweiten Leitungszweig. Eine Verbindung zwischen dem Steuerventil und dem Kaltkopf erfolgt nicht mechanisch starr, sondern lediglich über den flexiblen Verbindungsabschnitt und/oder den flexiblen, rohrförmigen Abschnitt, wodurch

25 hochfrequente Schwingungen des Steuerventils isoliert werden. Durch die konzentrische, geschachtelte Anordnung von flexiblem Leitungsabschnitt und flexiblem, rohrförmigen Abschnitt kann ein Einbringen eines Drehmoments auf den Kaltkopf aufgrund von Druckschwankungen des Arbeitsgases praktisch vollständig verhindert werden; zudem wird ein kompakter Bau erreicht. Man

30 beachte, dass Ausführungsformen zur zuerst vorgestellten Bauform, soweit sie nicht die beiden flexiblen Leitungsabschnitte weiterbilden, auch auf diese

zweite Bauform mit flexiblem Leitungsabschnitt und flexiblem, rohrförmigem Wandabschnitt angewandt werden können.

- Eine bevorzugte Ausführungsform dieses Pulsrohrkühler-System sieht vor,
5 dass das vordere Abschnittsende des flexiblen Leitungsabschnitts und das
hintere Abschnittsende des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts starr mit
dem Kaltkopf verbunden sind, und/oder dass das hintere Abschnittsende des
flexiblen Leitungsabschnitts und das vordere Abschnittsende des flexiblen,
rohrförmigen Wandabschnitts starr mit dem Steuerventil verbunden sind. Die in
10 dieser Ausführungsform vorgesehenen starren mechanischen Verbindungen
der Abschnittsenden mit dem Steuerventil und dem Kaltkopf sind aufgrund der
im Wesentlichen expansions- und kontraktionsfreien Ausgestaltung der
Verbindungseinrichtung bezüglich der niederfrequenten Vibrationen unkritisch.
- 15 Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform, bei der der flexible Leitungsabschnitt
und der flexible, rohrförmige Wandabschnitt jeweils mit einem metallischen
Wellschlauch ausgebildet sind, und dass die Federraten der beiden
Wellschläuche so ausgebildet sind, dass bei gleicher Druckbeaufschlagung mit
Arbeitsgas im ersten und zweiten Leitungszweig die beiden Wellschläuche
20 betragsgleiche Kräfte in Längsrichtung erzeugen. Dadurch kann eine praktisch
vollständige Kompensation der Längenexpansion bzw. Längenkompression der
Verbindungseinrichtung erreicht werden.

- Weiterhin ist eine Ausführungsform bevorzugt, bei der lediglich der erste
25 Leitungszweig vom Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet ist. Dies vereinfacht
den Aufbau; Totvolumina werden reduziert. Man beachte, dass allgemein
wenigstens einer der Leitungszweige für das Arbeitsgas durchströmbar
ausgebildet ist, so dass Arbeitsgas zum und vom Kühlkopf befördert werden
kann, und weiterhin allgemein und daher auch in dieser Ausführungsform beide
30 Leitungszweige für das Arbeitsgas zugänglich sind, so dass beide

Leitungszweige an der Expansions- und Kompressionskompensation teilnehmen können.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zweite
5 Leitungszweig einen inneren Ringraum zwischen der Außenseite des flexiblen
Leitungsabschnitts und einem inneren, starren Rohrabschnitt und einen
äußeren Ringraum zwischen dem flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt und
einem äußeren, starren Rohrabschnitt umfasst. Hier wird der flexible
Leitungsabschnitt des ersten Leitungszweigs gleichzeitig zur Begrenzung des
10 zweiten Leitungszweigs eingesetzt, was die Anzahl der benötigten Wandungen
reduziert und außerdem eine starre Verbindung zwischen Steuerventil und
Kaltkopf auf einfache Weise vermeidet.

Erfindungsgemäße Magnetresonanzanordnung

15

In den Rahmen der vorliegenden Erfindung fällt auch eine
Magnetresonanzanordnung, insbesondere NMR-Spektrometer-Anordnung oder
NMR-Tomographie-Anordnung, umfassend ein erfindungsgemäßes, oben
beschriebenes Pulsrohrkühler-System. Die Magnetresonanzanordnung ist
20 besonders störungsarm und daher für hochauflösende Messungen besonders
gut geeignet. Eine Magnetresonanzanordnung umfasst typischerweise
zumindest einen Magneten, der in der Regel supraleitend ausgebildet und in
einem Kryostaten angeordnet ist, weiterhin Hochfrequenzkomponenten, etwa
HF-Spulen in einer Raumtemperaturbohrung des Kryostaten, und eine
25 Probenposition für eine zu vermessende Probe.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der
Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter
ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu
30 mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und
beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu

verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung und Zeichnung

5

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

10

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems, angeordnet an einem Kryostaten eines NMR-Spektrometers, mit horizontal angeordneter Verbindungseinrichtung;

15

Fig. 2 eine schematische Aufsicht auf das Pulsrohrkühler-System von Fig. 1, mit einem geraden Leitungszweig und einem meandrierenden Leitungszweig;

20

Fig. 3 eine schematische Aufsicht auf eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems, mit zwei meandrierenden Leitungszweigen;

25

Fig. 4 eine schematische Aufsicht auf eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems, mit einem durchströmbaren Leitungszweig und einem nicht durchströmbaren Leitungszweig;

30

Fig. 5 eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems, angeordnet an einem Kryostaten eines MNR-Spektrometers, mit vertikal

angeordneter Verbindungseinrichtung;

5 Fig. 6 eine schematische Seitenansicht des Pulsrohrkühler-Systems von Fig. 5, um 90° gegenüber der Ansicht von Fig. 5 gedreht, mit zwei meandrierenden Leitungszweigen;

Fig. 7 eine schematische Außenansicht eines metallischen Wellschlauchs für die Erfindung;

10 Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung eines Drehventils für die Erfindung, geschaltet auf das Hochdruckreservoir;

Fig. 9 die Schnittdarstellung des Drehventils von Fig. 8, geschaltet auf das Niederdruckreservoir;

15 Fig. 10 eine schematische Querschnittsansicht des Kryostaten des NMR-Spektrometers von Fig. 1;

20 Fig. 11 eine schematische, teilweise geschnittene Aufsicht auf eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems, in der die Komponenten der Verbindungseinrichtung konzentrisch angeordnet sind.

25 Die **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Seitenansicht eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems 10. Das Pulsrohrkühler-System 10 dient dazu, ein Kühlmedium (etwa flüssiges Helium) in einem Kryostaten 1 auf einer kryogenen Temperatur (bei flüssigem He-4 ca. 4,2 K) zu halten. Das Kühlmedium im Kryostaten 1 temperiert eine supraleitende Magnetspule, die für eine NMR-Messung ein Magnetfeld erzeugt (vgl. dazu Fig. 30 10).

Um die NMR-Messung möglichst wenig zu stören, ist das Pulsrohrkühler-System 10 mit einem Steuerventil 3, hier einem Drehventil, ausgestattet, das räumlich getrennt von einem Kaltkopf 2 angeordnet ist.

- 5 Das Steuerventil 3 schaltet abwechselnd mit einer Frequenz von ca. 1-2 Hz ein Hochdruckreservoir und ein Niederdruckreservoir (vgl. dazu Fig. 8 und Fig. 9) eines Arbeitsgases, meist Helium-4, auf den Kaltkopf 2, der am Kryostaten 1 befestigt ist.
- 10 Das Steuerventil 3 ist über eine horizontal angeordnete Verbindungseinrichtung 4 mit dem Kaltkopf verbunden, wobei durch die Verbindungseinrichtung 4 das Arbeitsgas vom Steuerventil 3 zum Kaltkopf strömen kann und umgekehrt.

- Am Kaltkopf 2 ist ein Gegengewicht 5 angeordnet, durch das das Drehmoment,
15 das das Eigengewicht der Verbindungseinrichtung 4 am Kaltkopf 2 bewirkt, ausgeglichen wird. In der gezeigten Ausführungsform ist das Steuerventil 3 auf einer Halterung 9 gehalten, um das Steuerventil 3 auf der gleichen Höhe wie den Kaltkopf 2 zu positionieren.

- 20 In **Fig. 2** in Aufsicht kann der Aufbau insbesondere der Verbindungseinrichtung 4 des Pulsrohrkühler-Systems 10 besser gesehen werden.

- Die Verbindungseinrichtung 4 ist mit einem starren Leitungsabschnitt („Rohrstück“) 13 mit dem Steuerventil 3 verbunden. Dieser starre
25 Leitungsabschnitt 13 verzweigt an einem Verzweigungspunkt 14 auf einen ersten, hier gerade (direkt) verlaufenden Leitungszweig 11 und einen zweiten, hier meandrierend („zusammengefalt“) verlaufenden Leitungszweig 12. An einem Vereinigungspunkt 15 werden die Leitungszweige 11, 12 wieder zusammengeführt und sind über einen starren Leitungsabschnitt 16 mit dem
30 Kaltkopf 2 verbunden.

Der erste Leitungszweig 11 enthält einen ersten flexiblen Leitungsabschnitt 4a, und der zweite Leitungszweig 12 enthält einen zweiten flexiblen Leitungsabschnitt 4b. Die beiden flexiblen Leitungsabschnitte („Schlauchstücke“) 4a, 4b verlaufen parallel zueinander entlang einer Längsrichtung LR; die Längsrichtung LR verläuft hier horizontal.

Die flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b weisen jeweils in einem vorderen Bereich VB, der hier dem Kaltkopf 2 nahe ist, jeweils ein vorderes Abschnittsende 17, 18 auf, und in einem hinteren Bereich HB, der hier dem Steuerventil 3 nahe ist, jeweils ein hinteres Abschnittsende 19, 20 auf.

Das vordere Abschnittsende 17 des ersten flexiblen Leitungsabschnitts 4a ist über einen kurzen, starren Leitungsabschnitt 21 und das hintere Abschnittsende 20 des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts 4b ist mit einem längeren, verwinkelten, starren Leitungsabschnitt 22 mit dem Vereinigungspunkt 15 verbunden. Damit sind auch die Abschnittsenden 17, 20 über die starren Leitungsabschnitte 21, 22 mechanisch starr miteinander verbunden.

Das vordere Abschnittsende 18 des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts 4b ist über einen längeren, verwinkelten starren Leitungsabschnitt 23 und das hintere Abschnittsende 19 des ersten flexiblen Leitungsabschnitts 4a ist mit einem kurzen, geraden, starren Leitungsabschnitt 24 mit dem Verzweigungspunkt 14 verbunden. Damit sind auch die Abschnittsenden 18, 19 über die starren Leitungsabschnitte 23, 24 mechanisch starr miteinander verbunden.

Schaltet nun das Steuerventil 3 einen hohen Druck auf die beiden flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b, so versuchen sich diese in Längsrichtung LR auszudehnen. Der erste flexible Leitungsabschnitt 4a versucht dabei, die Punkte 14, 15 über die starren Leitungsabschnitte 21, 24 auseinanderzudrücken. Hingegen versucht der zweite flexible Leitungsabschnitt

4b, die Punkte 14, 15 über die starren Verbindungsabschnitte 22, 23 zusammenzudrücken. Im Ergebnis gibt es näherungsweise keine relative Bewegung zwischen den Punkten 14, 15 durch die Druckerhöhung.

- 5 Schaltet hingegen das Steuerventil 3 einen niedrigen Druck auf die beiden flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b, so versuchen sich diese in Längsrichtung LR zu verkürzen. Der erste flexible Leitungsabschnitt 4a versucht dabei, die Punkte 14, 15 über die starren Leitungsabschnitte 21, 24 zusammenzuziehen. Hingegen versucht der zweite flexible Leitungsabschnitt 4b, die Punkte 14, 15
10 über die starren Verbindungsabschnitte 22, 23 auseinanderzuziehen. Im Ergebnis gibt es wiederum näherungsweise keine relative Bewegung zwischen den Punkten 14, 15 durch die Druckerniedrigung.

- Die Expansions- bzw. Kontraktionskräfte der flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b
15 bei Druckschwankungen kompensieren sich somit gegenseitig. Da die flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b baugleich sind, insbesondere sind Länge und Querschnitt gleich, ist diese Kompensation näherungsweise vollständig und es kommt (näherungsweise) zu keinen Längenänderungen. Allerdings ist der zweite Leitungszweig 12 um den Abstand x quer zur Längsrichtung LR
20 gegenüber dem ersten Leitungszweig 11 versetzt, was zur Einbringung eines Drehmoments auf den Kaltkopf 2 führen kann, welches diesen um seine Längsachse LA (die senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 2 verläuft) zu drehen versucht. Der (horizontale) Abstand x wird daher in der Praxis meist so klein wie möglich gewählt. Man beachte, dass in einer Variante der gezeigten
25 Ausführungsform die flexiblen Leitungsabschnitte auch übereinander angeordnet werden können; in diesem Fall ergäbe sich durch den (vertikalen) Abstand der flexiblen Leitungsabschnitte ein Kippmoment auf den Kaltkopf.

- Man beachte weiterhin, dass zwischen dem Steuerventil 3 und dem Kaltkopf 2
30 keine durchgehende starre Verbindung besteht. Die Leitungsverbindung in beiden Zweigen 11, 12 erfolgt jeweils über Vermittlung eines der flexiblen

Leitungsabschnitte 4a, 4b. Dadurch können am Steuerventil 3 auftretende hochfrequente Schwingungen (insbesondere verursacht durch einen motorischen Antrieb eines Drehkörpers) vom Kaltkopf 2 ferngehalten werden. Man beachte, dass für diese Isolationsfunktion eine gewisse Mindestlänge der flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b nötig ist, typischerweise 50 cm oder mehr,
5 wodurch auch der horizontale Mindestabstand des Steuerventils 3 vom Kaltkopf 2 in dieser Ausführungsform bestimmt wird.

In der gezeigten Ausführungsform kann Arbeitsgas durch beide Leitungszweige
10 11, 12 hindurch fließen. Allerdings ist der zweite Leitungszweig 12 ca. dreimal so lang wie der erste Leitungszweig 11 und hat einen entsprechend höheren Strömungswiderstand, so dass deutlich mehr Arbeitsgas durch den ersten Leitungszweig 11 fließt als durch den zweiten Leitungszweig 12.

15 In **Fig. 3** ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems 10, ähnlich zu dem in Fig. 2 gezeigten Pulsrohrkühler-System gezeigt. Es werden vor allem die Unterschiede zu Fig. 2 erläutert.

In dieser Ausführungsform sind beide Leitungszweige 11, 12 der
20 Verbindungseinrichtung 4 meandrierend ausgebildet. Beide Leitungszweige 11, 12 sind vom Arbeitsgas durchströmbar und enthalten jeweils einen der flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b. Die Abschnittsenden 17, 20 einerseits und 18, 19 andererseits sind wiederum über starre Leitungsabschnitte 21, 22 und 23, 24 starr mechanisch miteinander verbunden. Diese mechanisch starre Verbindung
25 der Abschnittsenden 17, 18, 19 20 „über Kreuz“ ermöglicht die Kompensation von durch Druckschwankungen bedingten Längenänderungen der flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b wie bei Fig. 2 beschrieben.

Die beiden Leitungszweige 11, 12 sind hier insgesamt näherungsweise gleich
30 lang und entsprechend mit näherungsweise gleichem Strömungswiderstand

ausgebildet, so dass durch die beiden Leitungszweige 11, 12 näherungsweise gleich viel Arbeitsgas strömen kann.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen

- 5 Pulsrohrkühler-Systems 10, ähnlich zu dem Pulsrohrkühler-System von Fig. 2. Es werden wiederum vor allem die Unterschiede zur Ausführungsform von Fig. 2 erläutert.

- Bei dieser Ausführungsform verzweigt die Verbindungseinrichtung 4 am
10 Verzweigungspunkt 14 auf den durchströmbaren ersten Leitungszweig 11 mit dem ersten flexiblen Leitungselement 4a einerseits und den nicht durchströmbaren zweiten Leitungszweig 12 mit dem zweiten flexiblen Leitungselement 4b andererseits.

- 15 Das vordere Abschnittsende 18 des zweiten flexiblen Leitungselements 4b ist über die starren Leitungsabschnitte 23, 24 mit dem hinteren Abschnittsende 19 des ersten flexiblen Leitungsabschnitts 4a mechanisch starr verbunden. Das zweite flexible Leitungselement 4b nimmt über den starren Leitungsabschnitt 23 an Druckschwankungen des Arbeitsgases, wie vom Steuerventil 3 geschaltet,
20 teil. Entsprechend versucht das zweite flexible Verbindungselement 4b auch, entsprechend dem anliegenden Druck des Arbeitsgases in Längsrichtung LR zu expandieren und zu kontrahieren.

- Das hintere Abschnittsende 20 des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts 4b ist
25 hier geschlossen ausgebildet und über ein starres Gestänge 25, durch das kein Arbeitsgas fließen kann, mit dem starren Leitungsabschnitt 21 starr verbunden, nämlich am Übergang 15a zum starren Leitungsabschnitt 16 zum Kaltkopf 2. Der verwinkelte, starre Leitungsabschnitt 21 führt wiederum zum vorderen Abschnittsende 17 des ersten flexiblen Leitungsabschnitts 4a. Damit sind die
30 Abschnittsenden 17 und 20 mechanisch starr miteinander verbunden.

Diese mechanisch starre Verbindung der Abschnittsenden 17, 18, 19 20 „über Kreuz“ ermöglicht wiederum die Kompensation der durch die Druckschwankungen des Arbeitsgases bedingten Längenänderungen der flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b wie bei Fig. 2 beschrieben.

5

Fig. 5 zeigt in einer schematischen Seitenansicht ein Pulsrohrkühler-System 10 ähnlich wie in Fig. 1 dargestellt. Es werden wiederum vor allem die Unterschiede zur Ausführungsform von Fig. 1 erläutert.

- 10 Das Steuerventil 3 ist hier am Boden (oder alternativ in Bodennähe) angeordnet, während der Kaltkopf 2 an einem oberen Teil des Kryostaten 1 angeordnet ist. Die Verbindungseinrichtung 4 verläuft hier im Wesentlichen vertikal. Dadurch können die Verbindungseinrichtung 4 und das Steuerventil 3 in horizontaler Richtung näher an den Kryostaten 1 heranrücken als in der
- 15 Ausführungsform von Fig. 1, wodurch der Gesamtaufbau kompakter wird.

Die **Fig. 6** illustriert eine um 90° gedrehte Seitenansicht des Pulsrohr-Kühlersystems 10 von Fig. 5. Die Verbindungseinrichtung 4 ist wie in Fig. 3 gezeigt auf zwei Leitungszweige 11, 12 verzweigt, wobei die Abschnittsenden

20 17, 18, 19, 20 der beiden flexiblen Leitungsabschnitte 4a, 4b wiederum „über Kreuz“ miteinander mechanisch starr verbunden (und verrohrt) sind. Der vordere, kaltkopfnähe Bereich VB ist hier oben, und der hintere, steuerventilnahe Bereich HB ist hier unten angeordnet.

- 25 Die **Fig. 7** zeigt in schematischer Außenansicht ein metallisches Wellrohr 70, mit dem ein flexibler Verbindungsabschnitt gemäß der Erfindung ausgebildet werden kann. Das Wellrohr 70 besitzt in Längsrichtung LR eine Abfolge von vielen Abschnitten mit kleinerem Durchmesser 71 und größerem Durchmesser 72. Dadurch kann das Wellrohr 70 relativ leicht elastisch in Längsrichtung LR
- 30 gestreckt oder gestaucht werden, insbesondere bei Druckveränderungen im Inneren des Wellrohrs 70. Das metallische Wellrohr 70 kann insbesondere

durch Verschweißen von metallischen Ringen oder Innenhochdruckumformen eines geraden Rohrstücks hergestellt werden.

Fig. 8 zeigt in einer schematischen Schnittansicht die Funktion eines als
5 Drehventil 80 ausgebildeten Steuerventils für die Erfindung.

Das Drehventil 80 verfügt über einen Motor 7, mit dem ein Drehkörper 6 gedreht wird, typischerweise mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,5 bis 2 Umdrehungen pro Sekunde. Der Drehkörper 6 ist in einem Gehäuse 8
10 angeordnet, das an ein Hochdruckreservoir 81 (ca. 25 bar) eines Arbeitsgases angeschlossen ist; im Gehäuse 8 befindet sich in der gezeigten Ausführungsform ebenfalls Arbeitsgas unter Hochdruck. Am Gehäuse 8 ist weiterhin ein Anschluss zu einem Niederdruckreservoir 82 (ca. 6 bar) des Arbeitsgases sowie ein Anschluss 83 zum Kaltkopf (bzw. zur
15 Verbindungseinrichtung) eingerichtet. Man beachte, dass das Hochdruckreservoir 81 und das Niederdruckreservoir 82 typischerweise über metallische Wellschläuche angeschlossen sind.

In der in Fig. 8 gezeigten Drehstellung des Drehkörpers 6 ist ein Kanal 84
20 zwischen dem Anschluss 83 des Kaltkopfs und dem Inneren des Gehäuses 80, und damit zum Hochdruckreservoir 81, eröffnet. Ein Kanal 85 (gestrichelt eingezeichnet, da tatsächlich um 90° verdreht) zum Niederdruckreservoir 82 ist hingegen verschlossen.

25 In der in **Fig. 9** gezeigten Drehstellung des Drehkörpers 6 ist nun der Kanal 85 zwischen dem Anschluss 83 des Kaltkopfs und dem Niederdruckreservoir 82 eröffnet. Hingegen ist der Kanal 84 (gestrichelt eingezeichnet, da tatsächlich um 90° verdreht) verschlossen.

Durch einen schnellen Wechsel zwischen den beiden gezeigten Drehstellungen des Drehventils 80 kann der Druck des Arbeitsgases im Kaltkopf abwechselnd erhöht und erniedrigt werden.

- 5 Die **Fig. 10** zeigt eine Magnetresonanzanordnung 90, hier ein NMR-Spektrometer, an der ein erfindungsgemäßes Pulsrohrkühler-System eingesetzt werden kann.

10 In einem Kryostaten 1 ist eine supraleitende Magnetspule 91 angeordnet, die mit einem Kühlmittel (typischerweise ein flüssiges Gas wie LHe oder LN₂, nicht dargestellt) auf einer kryogenen Temperatur unterhalb der Sprungtemperatur des Supraleiters in der Magnetspule 91 gehalten wird. Das Kühlmittel kann dabei von einem erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-System, das mit einem Kaltkopf in den Kryostaten 1 hineinragt (nicht dargestellt in Fig. 10, vgl. dazu
15 aber Fig. 1 und Fig. 5), gekühlt werden. In einer Raumtemperaturbohrung 92 des Kryostaten 1 sind Hochfrequenz(=HF)-Komponenten 93 (z. B. HF-Sendespulen und HF-Empfangsspulen) angeordnet, die ein Probenvolumen 94 für eine zu vermessende Probe umschließen. Der Magnet 91 erzeugt im Probenvolumen 94 ein starkes homogenes Magnetfeld B_0 , z. B. von 5 Tesla
20 oder mehr, welches für die NMR-Messung benötigt wird.

Die **Fig. 11** zeigt in einer schematischen Aufsicht eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Pulsrohrkühler-Systems 100, ähnlich wie in Fig. 2 dargestellt, wobei die Verbindungseinrichtung 110
25 geschnitten dargestellt ist. Es werden vor allem die Unterschiede zur Ausführungsform von Fig. 2 erläutert. Die gasdurchströmten Volumina der Verbindungseinrichtung 110 sind in Fig. 11 schraffiert dargestellt.

Die hier bezüglich einer Zentralachse ZA im Wesentlichen
30 rotationssymmetrische Verbindungseinrichtung 110 umfasst einen gerade verlaufenden, ersten Leitungsweig 101, der in der gezeigten Ausführungsform

durch ein erstes starres Rohrstück 105, einen flexiblen Leitungsabschnitt 103, hier ausgebildet durch einen metallischen Welschlauch, und ein zweites starres Rohrstück 106 ausgebildet ist. Der erste Leitungszweig 101 ist für Arbeitsgas direkt durchströmbar, das vom Steuerventil 3 zum Kaltkopf 2 und
5 zurück fließt.

Die Verbindungseinrichtung 110 umfasst weiterhin einen verlaufenden, zweiten Leitungszweig 102, der in der gezeigten Ausführungsform im Wesentlichen ausgebildet wird durch einen inneren Ringraum 111 und einen äußeren
10 Ringraum 113; die Ringräume 111, 113 sind ineinander geschachtelt und koaxial (konzentrisch) bezüglich der Zentralachse ZA angeordnet.

Der innere Ringraum 111 wird radial innenseitig im Wesentlichen durch die starren Rohrstücke 105, 106 und den flexiblen Leitungsabschnitt 103, und
15 außenseitig durch einen inneren, starren Rohrabschnitt 112 begrenzt. Der äußere Ringraum 113 wird radial innenseitig durch einen flexiblen, rohrförmigen Abschnitt 104, hier ausgebildet durch einen metallischen Welschlauch, und außenseitig durch einen äußeren, starren Rohrabschnitt 114 begrenzt.

20 An hier zwei Durchlasslöchern 107 ist der innere Ringraum 111 mit dem ersten Leitungszweig 101 verbunden („Verzweigungspunkte“ für das Arbeitsgas). Der äußere Ringraum 113 ist weiterhin durch einen ringförmigen Durchlass 108 für das Arbeitsgas mit dem inneren Ringraum 111 verbunden. Der zweite
25 Leitungszweig 102 ist hier nicht für das Arbeitsgas durchströmbar, sondern endet nahe dem hinteren Abschnittsende 120 des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts 104 als „Sackgasse“.

Der flexible Leitungsabschnitt 103 und der flexible, rohrförmige Wandabschnitt 104 sind ineinander geschachtelt und koaxial (konzentrisch) bezüglich der
30 Zentralachse ZA angeordnet, und erstrecken sich im Wesentlichen entlang der zur Zentralachse ZA parallelen Längsrichtung LR von einem hinteren Bereich

HB bis zu einem vorderen Bereich VB der Verbindungseinrichtung 110. Der vordere Endabschnitt 117 des flexiblen Leitungsabschnitts 103 ist hier über den Kaltkopf 2 und den äußeren starren Rohrabschnitt 114 starr mit dem hinteren Endabschnitt 120 des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts 104 verbunden.

5 Weiterhin ist das vordere Abschnittsende 118 des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts 104 hier über den inneren, starren Rohrabschnitt 112, das Steuerventil 3 und das starre Rohrstück 105 starr mit dem hinteren Abschnittsende 119 des flexiblen Leitungsabschnitt 103 verbunden.

10 Der Wellschlauch des flexiblen Leitungsabschnitts 103 und der Wellschlauch des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts 104 weisen aneinander angegliche Federraten auf, so dass die (in beiden Leitungszweigen 101, 102 im Wesentlichen überall gleiche) auftretende Druckbeaufschlagung mit Arbeitsgas an beiden Wellschläuchen in Längsrichtung LR zu betragsgleicher
15 Kraft und Gegenkraft an der Verbindungseinrichtung 110 bzw. zwischen dem Steuerventil 3 und dem Kaltkopf 2 führt. Dadurch kompensieren sich insgesamt die Expansions- und Kompressionskräfte des flexiblen Leitungsabschnitts 103 einerseits und des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts 104 andererseits, wenn das Arbeitsgas im ersten und zweiten Leitungszweig 101, 102
20 synchronen Druckschwankungen ausgesetzt ist. In der gezeigten Ausführungsform weisen der flexible Leitungsabschnitt 103 und der flexible, rohrförmige Wandabschnitt 104 in Längsrichtung LR dieselbe Länge auf; zur Anpassung der Federraten ist hier die Wandstärke des Wellschlauchs beim flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt 104 dünner gewählt als beim flexiblen
25 Leitungsabschnitt 103 (nicht näher dargestellt). Man beachte, dass die Federraten (Federhärten) über verschiedene Faktoren eingestellt werden können, neben der Wandstärke in radialer Richtung beispielsweise auch über das Schlauchmaterial oder die Balggeometrie am jeweiligen Wellschlauch.

30 Durch die koaxiale (konzentrische) Anordnung der flexiblen Teile von erstem und zweitem Leitungszweig 101, 102 entfällt das kleine Restdrehmoment, das

in der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform durch den Querversatz der Leitungen 4a und 4b hervorgerufen wird, zur Gänze.

Patentansprüche

1. Pulsrohrkühler-System (10), umfassend einen Kaltkopf (2), ein
5 Steuerventil (3) und eine Verbindungseinrichtung (4),
wobei mit dem Steuerventil (3) abwechselnd ein Hochdruckreservoir (81)
und ein Niederdruckreservoir (82) eines Arbeitsgases über die
Verbindungseinrichtung (4) auf den Kaltkopf (2) schaltbar ist,
und wobei die Verbindungseinrichtung (4) in einen ersten Leitungszweig
10 (11) und einen zweiten Leitungszweig (12) verzweigt,

dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Leitungszweig (11) einen ersten flexiblen
15 Leitungsabschnitt (4a) und der zweite Leitungszweig (12) einen zweiten
flexiblen Leitungsabschnitt (4b) aufweist,
dass die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) parallel zueinander
angeordnet und quer zu einer Längsrichtung (LR) der flexiblen
Leitungsabschnitte (4a, 4b) gegeneinander versetzt sind,
20 dass die Verbindungseinrichtung (4) bezüglich der Längsrichtung (LR)
einen vorderen Bereich (VB) und einen hinteren Bereich (HB) aufweist,
wobei die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) jeweils ein vorderes
Abschnittsende (17, 18) im vorderen Bereich (VB) und ein hinteres
Abschnittsende (19, 20) im hinteren Bereich (HB) aufweisen,
25 dass das vordere Abschnittsende (17) des ersten flexiblen
Leitungsabschnitts (4a) und das hintere Abschnittsende (20) des zweiten
flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr miteinander verbunden sind,
dass das hintere Abschnittsende (19) des ersten flexiblen
Leitungsabschnitts (4a) und das vordere Abschnittsende (18) des
30 zweiten flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr miteinander verbunden
sind,

und dass es keine durchgehende starre Verbindung zwischen dem Steuerventil (3) und dem Kaltkopf (2) gibt.

2. Pulsrohrkühler-System (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
5 dass das vordere Abschnittsende (17) des ersten flexiblen Leitungsabschnitts (4a) und das hintere Abschnittsende (20) des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr mit dem Kaltkopf (2) verbunden sind,
und/oder dass das hintere Abschnittsende (19) des ersten flexiblen
10 Leitungsabschnitts (4a) und das vordere Abschnittsende (18) des zweiten flexiblen Leitungsabschnitts (4b) starr mit dem Steuerventil (3) verbunden sind.
3. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerventil (3) als ein Drehventil (80) ausgebildet ist.
4. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
20 dadurch gekennzeichnet, dass die starren Verbindungen der Abschnittsenden (17-20) teilweise oder vollständig durch starre Leitungsabschnitte (21-24) eingerichtet sind, durch die das Arbeitsgas strömen kann.
5. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
25 gekennzeichnet, dass beide Leitungszweige (11, 12) von Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet sind.
6. Pulsrohrkühler-System (10) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,
30 dass die beiden Leitungszweige (11, 12) so ausgebildet sind, dass sie den gleichen Strömungswiderstand für das Arbeitsgas aufweisen.

7. Pulsrohr-Kühlersystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass nur einer der beiden Leitungszweige (11, 12) von Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet ist.
- 5
8. Pulsrohrkühler-System (10) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass einer der Leitungszweige (11, 12) an einem der Abschnittsenden (17-20) von dessen flexiblem Leitungsabschnitt (4a, 4b) blockiert ist.
- 10
9. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) als metallische Wellschläuche (70) ausgebildet sind.
- 15
10. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) baugleich ausgebildet sind.
- 20
11. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungseinrichtung (4) so angeordnet ist, dass die Längsrichtung (LR) der flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) horizontal verläuft.
- 25
12. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungseinrichtung (4) so angeordnet ist, dass die Längsrichtung (LR) der flexiblen Leitungsabschnitte (4a, 4b) vertikal verläuft.
- 30
13. Pulsrohrkühler-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass am Kaltkopf (2) ein Gegengewicht (5) angeordnet ist, mit dem ein durch das Gewicht der Verbindungseinrichtung (4) bewirktes Drehmoment auf den Kaltkopf (2)

kompensiert ist.

14. Pulsrohrkühler-System (100), umfassend einen Kaltkopf (2), ein
Steuerventil (3) und eine Verbindungseinrichtung (110),
5 wobei mit dem Steuerventil (3) abwechselnd ein Hochdruckreservoir (81)
und ein Niederdruckreservoir (82) eines Arbeitsgases über die
Verbindungseinrichtung (110) auf den Kaltkopf (2) schaltbar ist,
und wobei die Verbindungseinrichtung (110) in einen ersten
Leitungszweig (101) und einen zweiten Leitungszweig (102) verzweigt,

10 dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Leitungszweig (101) einen flexiblen Leitungsabschnitt
(103) und der zweite Leitungszweig (102) einen flexiblen, rohrförmigen
15 Wandabschnitt (104) aufweist,

wobei der flexible Leitungsabschnitt (103) entlang einer Längsrichtung
(LR) verläuft und koaxial im flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt (104)
angeordnet ist,

dass die Verbindungseinrichtung (110) bezüglich der Längsrichtung (LR)
20 einen vorderen Bereich (VB) und einen hinteren Bereich (HB) aufweist,
wobei der flexible Leitungsabschnitt (103) und der flexible, rohrförmige
Wandabschnitt (104) jeweils ein vorderes Abschnittsende (117, 118) im
vorderen Bereich (VB) und ein hinteres Abschnittsende (119, 120) im
hinteren Bereich (HB) aufweisen,

25 dass das vordere Abschnittsende (117) des flexiblen Leitungsabschnitts
(103) und das hintere Abschnittsende (120) des flexiblen, rohrförmigen
Wandabschnitts (104) starr miteinander verbunden sind,

dass das hintere Abschnittsende (119) des flexiblen Leitungsabschnitts
(103) und das vordere Abschnittsende (118) des flexiblen, rohrförmigen
30 Wandabschnitts (104) starr miteinander verbunden sind,

und dass es keine durchgehende starre Verbindung zwischen dem

Steuerventil (3) und dem Kaltkopf (2) gibt.

15. Pulsrohrkühler-System (100) nach Anspruch 14, dadurch

5 gekennzeichnet, dass das vordere Abschnittsende (117) des flexiblen Leitungsabschnitts (103) und das hintere Abschnittsende (120) des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts (104) starr mit dem Kaltkopf (2) verbunden sind,

und/oder dass das hintere Abschnittsende (119) des flexiblen Leitungsabschnitts (103) und das vordere Abschnittsende (118) des flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitts (104) starr mit dem Steuerventil (3) verbunden sind.

16. Pulsrohrkühler-System (100) nach Anspruch 14 oder 15, dadurch

15 gekennzeichnet, dass der flexible Leitungsabschnitt (103) und der flexible, rohrförmige Wandabschnitt (104) jeweils mit einem metallischen Wellschlauch ausgebildet sind, und dass die Federraten der beiden Wellschläuche so ausgebildet sind, dass bei gleicher Druckbeaufschlagung mit Arbeitsgas im ersten und zweiten Leitungszweig (101, 102) die beiden Wellschläuche betragsgleiche Kräfte in Längsrichtung (LR) erzeugen.

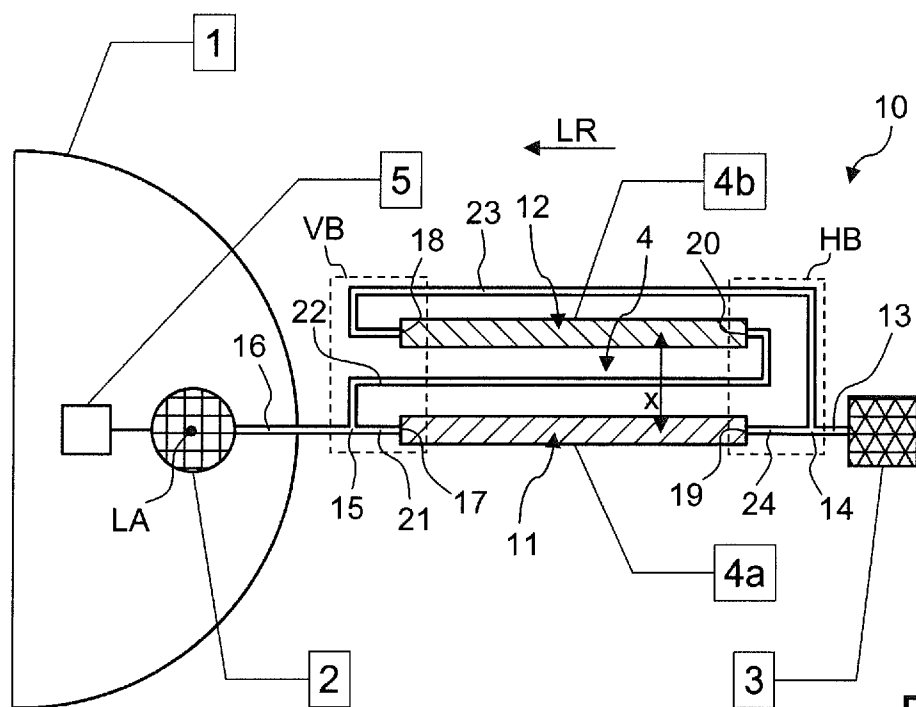
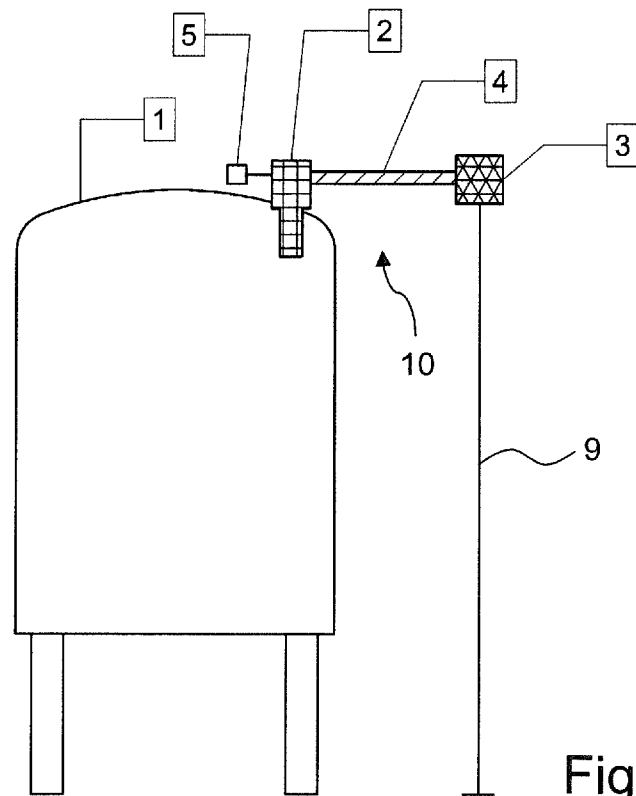
17. Pulsrohrkühler-System (100) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass lediglich der erste Leitungszweig (101) vom Arbeitsgas durchströmbar ausgebildet ist.

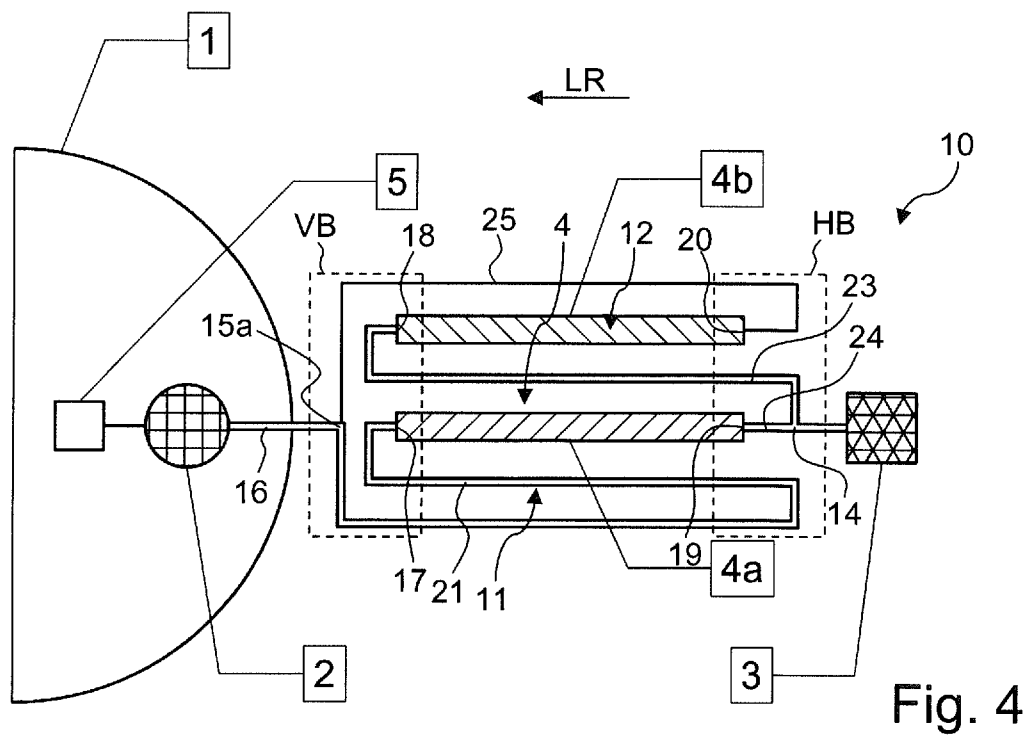
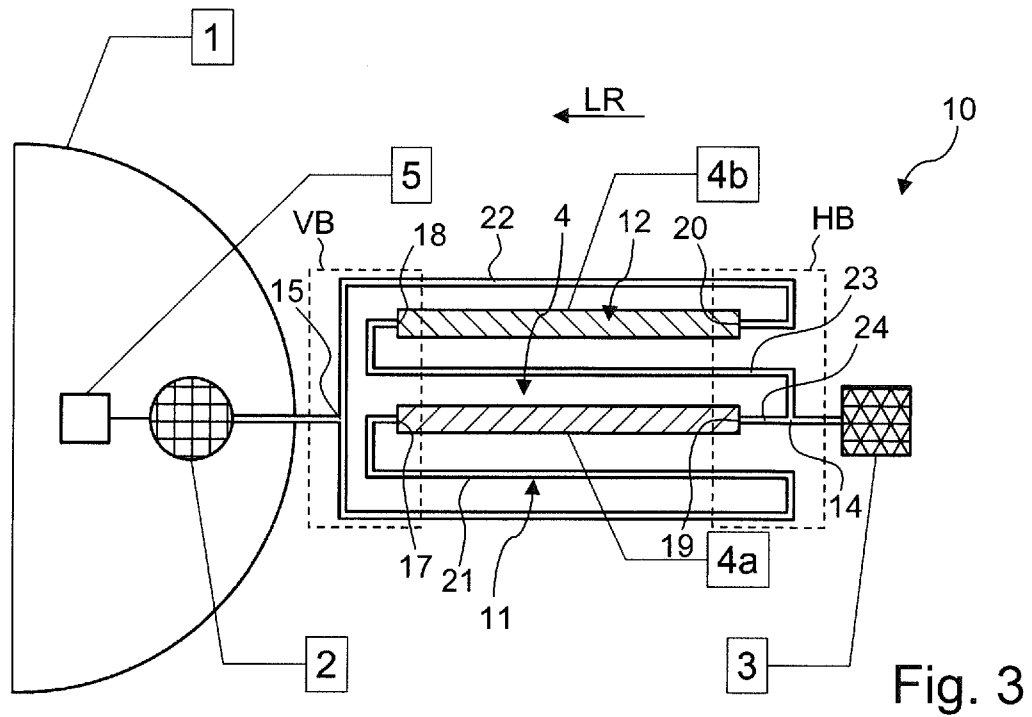
25 18. Pulsrohrkühler-System (100) nach einem der Ansprüche 14 bis 17,

dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Leitungszweig (102) einen inneren Ringraum (111) zwischen der Außenseite des flexiblen Leitungsabschnitts (103) und einem inneren, starren Rohrabschnitt (112) und einen äußeren Ringraum (113) zwischen dem flexiblen, rohrförmigen Wandabschnitt (104) und einem äußeren, starren Rohrabschnitt (114)

umfasst.

19. Magnetresonanzanordnung (90), insbesondere NMR-Spektrometer-
Anordnung oder NMR-Tomographie-Anordnung, umfassend ein
5 Pulsrohrkühler-System (10, 100) nach einem der vorhergehenden
Ansprüche.





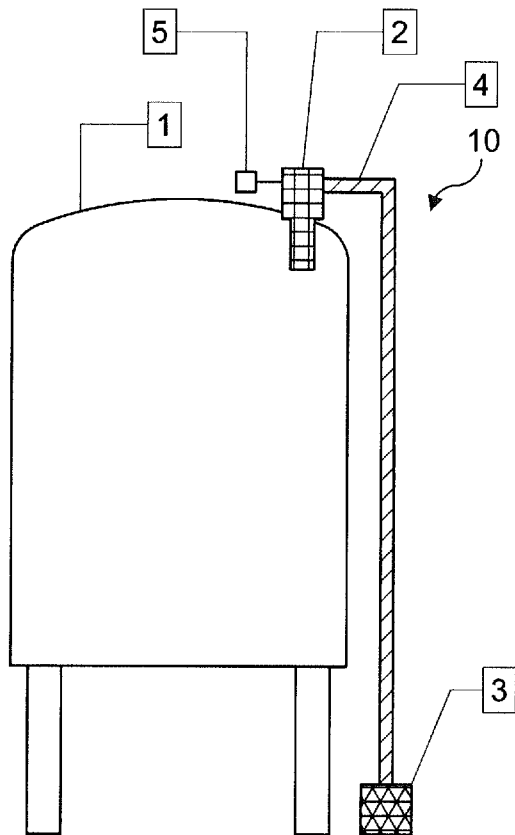


Fig. 5

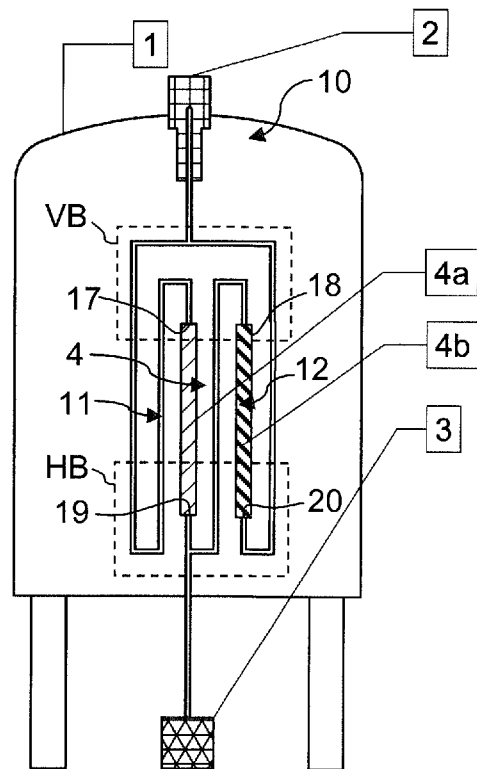


Fig. 6

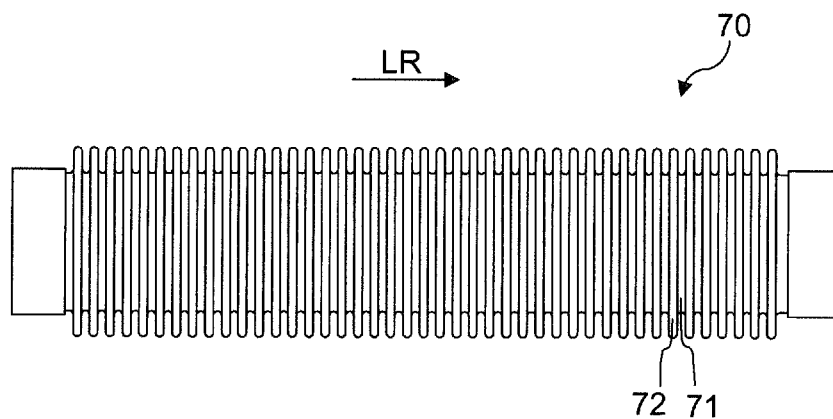


Fig. 7

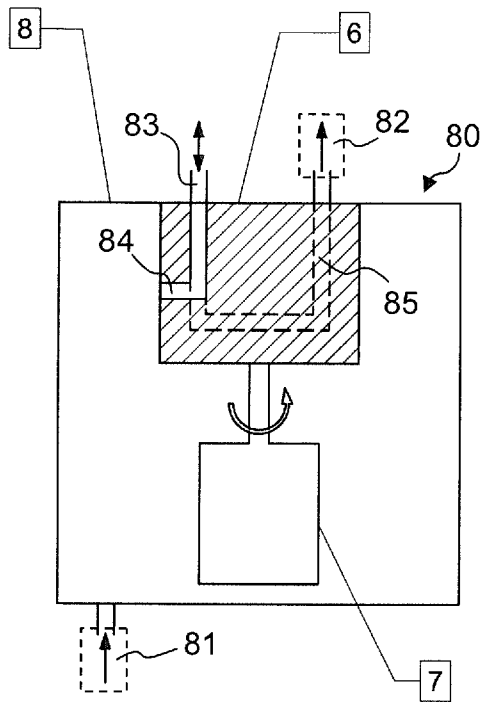


Fig. 8

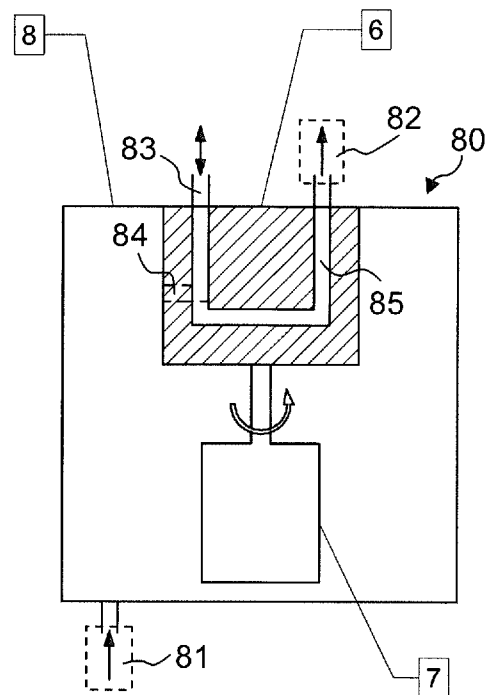


Fig. 9

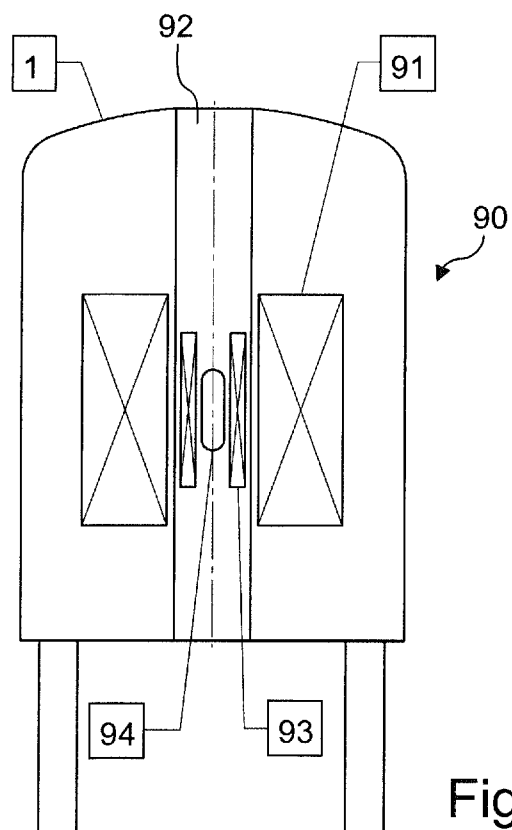


Fig. 10

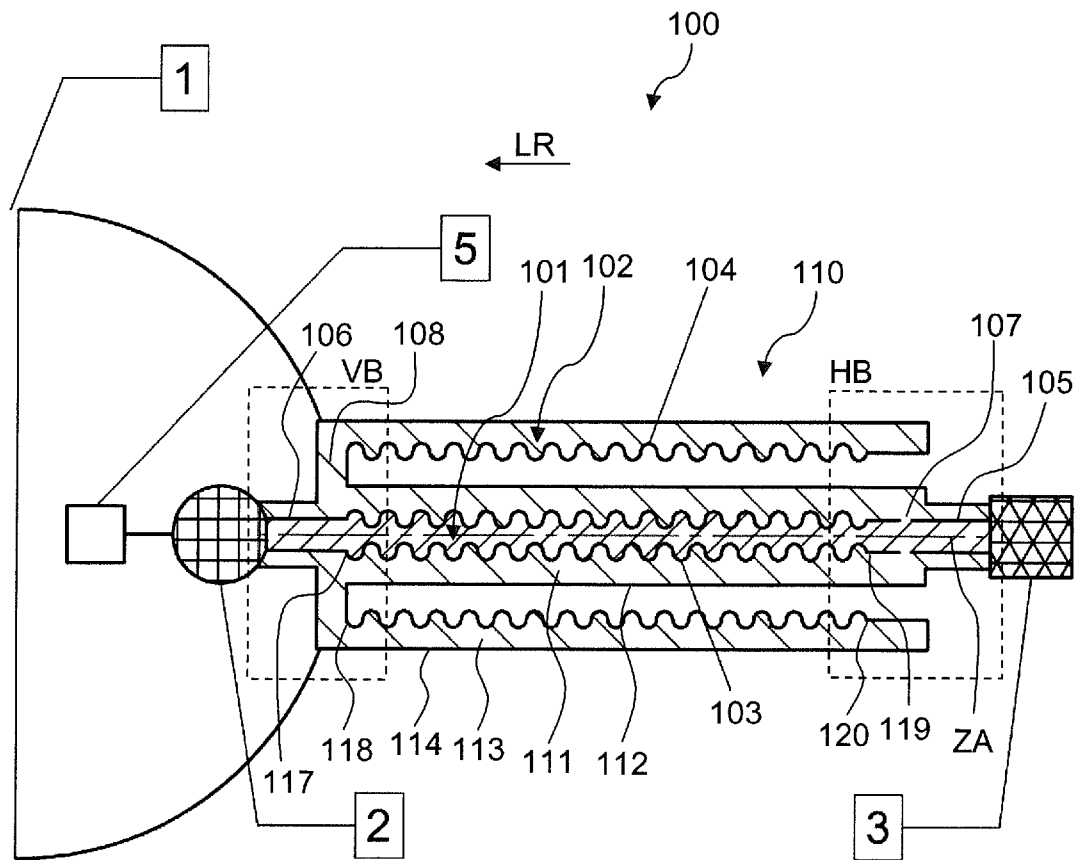


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/067219

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F25B9/14 G01R33/3815 G01R33/38
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R F25B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2005 004269 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 10 August 2006 (2006-08-10) paragraph [0026]; figure 2 -----	1-19
A	US 5 966 944 A (INOUE TATSUO [JP] ET AL) 19 October 1999 (1999-10-19) column 2 - column 10; figures 1-9 -----	1-19
A	GB 2 502 203 A (OXFORD INSTR NANOTECHNOLOGY TOOLS LTD [GB]) 20 November 2013 (2013-11-20) page 2 - page 15; figures 1-3 -----	1-19
A	EP 1 503 155 A1 (HIGH ENERGY ACCELERATOR RES [JP]) 2 February 2005 (2005-02-02) paragraph [0005]; figure 2 ----- -/-	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 September 2015

Date of mailing of the international search report

12/10/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Amous, Moez

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/067219

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2010 001498 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 4 August 2011 (2011-08-04) page 4; figures 1,2 -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/067219

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005004269 A1	10-08-2006	DE 102005004269 A1	10-08-2006
		GB 2422655 A	02-08-2006
		US 2006254288 A1	16-11-2006

US 5966944 A	19-10-1999	JP H10282200 A	23-10-1998
		US 5966944 A	19-10-1999

GB 2502203 A	20-11-2013	CN 104428609 A	18-03-2015
		EP 2877791 A1	03-06-2015
		GB 2502203 A	20-11-2013
		US 2015084633 A1	26-03-2015
		WO 2013171455 A1	21-11-2013

EP 1503155 A1	02-02-2005	CN 1603718 A	06-04-2005
		DE 602004009726 T2	28-08-2008
		EP 1503155 A1	02-02-2005
		HK 1075085 A1	24-12-2010
		JP 3864228 B2	27-12-2006
		JP 2005048991 A	24-02-2005

DE 102010001498 A1	04-08-2011	CN 102741598 A	17-10-2012
		DE 102010001498 A1	04-08-2011
		EP 2531753 A1	12-12-2012
		JP 5735542 B2	17-06-2015
		JP 2013519059 A	23-05-2013
		KR 20120125329 A	14-11-2012
		US 2012292548 A1	22-11-2012
		WO 2011095455 A1	11-08-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F25B9/14 G01R33/3815 G01R33/38
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01R F25B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2005 004269 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 10. August 2006 (2006-08-10) Absatz [0026]; Abbildung 2 -----	1-19
A	US 5 966 944 A (INOUE TATSUO [JP] ET AL) 19. Oktober 1999 (1999-10-19) Spalte 2 - Spalte 10; Abbildungen 1-9 -----	1-19
A	GB 2 502 203 A (OXFORD INSTR NANOTECHNOLOGY TOOLS LTD [GB]) 20. November 2013 (2013-11-20) Seite 2 - Seite 15; Abbildungen 1-3 -----	1-19
A	EP 1 503 155 A1 (HIGH ENERGY ACCELERATOR RES [JP]) 2. Februar 2005 (2005-02-02) Absatz [0005]; Abbildung 2 ----- -/-	1-19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. September 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/10/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Amous, Moez

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2010 001498 A1 (BRUKER BIOSPIN GMBH [DE]) 4. August 2011 (2011-08-04) Seite 4; Abbildungen 1,2 -----	1-19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/067219

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005004269 A1	10-08-2006	DE 102005004269 A1	10-08-2006
		GB 2422655 A	02-08-2006
		US 2006254288 A1	16-11-2006

US 5966944 A	19-10-1999	JP H10282200 A	23-10-1998
		US 5966944 A	19-10-1999

GB 2502203 A	20-11-2013	CN 104428609 A	18-03-2015
		EP 2877791 A1	03-06-2015
		GB 2502203 A	20-11-2013
		US 2015084633 A1	26-03-2015
		WO 2013171455 A1	21-11-2013

EP 1503155 A1	02-02-2005	CN 1603718 A	06-04-2005
		DE 602004009726 T2	28-08-2008
		EP 1503155 A1	02-02-2005
		HK 1075085 A1	24-12-2010
		JP 3864228 B2	27-12-2006
		JP 2005048991 A	24-02-2005

DE 102010001498 A1	04-08-2011	CN 102741598 A	17-10-2012
		DE 102010001498 A1	04-08-2011
		EP 2531753 A1	12-12-2012
		JP 5735542 B2	17-06-2015
		JP 2013519059 A	23-05-2013
		KR 20120125329 A	14-11-2012
		US 2012292548 A1	22-11-2012
		WO 2011095455 A1	11-08-2011
